

ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИЯ С КОНТРОЛЕМ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ: ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.

Тахтаев С.Ю.¹, Астахов С.Ю.¹, Тахтаев Ю.В.¹.

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. Россия, 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого, д. 6-8

Резюме

Микрохирургия глаза — одно из наиболее высокотехнологичных и наукоёмких направлений современной медицины. Совершенствование технологии ультразвуковой факоэмульсификации является актуальным направлением клинических исследований и инженерно-технических решений в офтальмологии.

Системы разных производителей поддерживают различные варианты активного или адаптивного управления ирригацией и потенциально позволяют работать при более низком внутриглазном давлении (ВГД). Однако объём независимых клинических исследований непосредственно в режиме низкого ВГД существенно различается между разными системами и изучен недостаточно.

В данном обзоре проанализированы современные подходы к проблеме выполнения факоэмульсификации с контролем внутриглазного давления, рассмотрены данные об использовании различных систем контроля инфузии, проанализированы наиболее актуальные возможности данной технологии.

Ключевые слова: ультразвуковая факоэмульсификация, внутриглазное давление, низкое ВГД, системы поддержки инфузии, катаракта

PHACOEMULSIFICATION WITH INTRAOCULAR PRESSURE CONTROL: A REVIEW OF CURRENT APPROACHES

Takhtaev S.Yu.¹, Astakhov S.Yu.¹, Takhtaev Yu.V.¹

¹ *Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, 6–8 Lev Tolstoy St., Saint Petersburg, 197022, Russian Federation*

Abstract

Ophthalmic surgery is among the most technologically advanced and innovation-driven fields of modern medicine. Continuous refinement of ultrasound phacoemulsification remains an important area of clinical research and engineering development in contemporary ophthalmology.

Modern phacoemulsification platforms from different manufacturers incorporate various active or adaptive fluidics technologies designed to maintain anterior chamber stability and control intraoperative intraocular pressure (IOP). These systems may enable cataract surgery to be performed at lower target IOP levels while maintaining adequate aspiration efficiency and chamber stability. However, the amount and quality of independent clinical evidence specifically evaluating phacoemulsification under low-IOP conditions vary substantially between different platforms and remain limited for several currently available systems.

This review summarizes current approaches to phacoemulsification with intraoperative IOP control, discusses the principles and clinical application of different infusion and fluidics management systems, and analyzes the most relevant contemporary evidence regarding their potential advantages, limitations, and clinical implications.

Keywords: phacoemulsification; intraocular pressure; low intraocular pressure; active fluidics; infusion control; cataract surgery

Системы контроля ирригации во время факоэмульсификации (ФЭ) являются одним из новых инструментов, характеризующих дальнейшее движение в сторону стандартизации этапов операции и, возможно, полностью роботизированной хирургии катаракты [1]. Традиционные гравитационные системы эффективно используют физический принцип давления столба жидкости для поддержания стабильной глубины передней камеры на всех этапах операции. Операция проходит на нормотоничном глазу при сбалансированном ирригационно-аспирационном потоке, без риска микроколлапсов или риска полной потери объёма передней камеры глаза [2]. Нижняя граница инфузии определяется минимальным давлением ирригационной жидкости, которое обеспечивает стабильность передней камеры, компенсируя её потерю за счёт аспирационных потоков и наружной фильтрации. Риск коллапса передней камеры выше в момент резкого нарастания аспирационных потоков в момент прорыва окклюзии при высоких значениях вакуума, а также при усилении наружной фильтрации [3]. Последствием нестабильной передней камеры во время ФЭ является увеличение риска механического повреждения внутриглазных структур и замедленное восстановление зрительных функций после операции. Во избежание риска повреждения роговицы, радужки, разрыва задней капсулы хрусталика и других осложнений, большинство хирургов предпочитают работать на плотном глазу при ирригационных потоках, многократно превышающих потерю жидкости во время операции. В случае, когда операция проходит на гиперпозитивном внутриглазном давлении (ВГД), возникает повышенный риск ирригационной травмы, вымывания вискоэластика, увеличения наружной фильтрации, а также создаёт риск развития гемодинамических нарушений [4].

В современных факоэмульсификаторах разных производителей применяются системы контроля объёма поступающей в переднюю камеру жидкости. Наибольшую клиническую оценку получили различные системы

поддержки инфузии, основанные на принципе датчиков с обратной связью для автоматической компенсации потери жидкости и замкнутые или частично замкнутые системы управления ВГД, позволяющие проводить операцию при существенно более низком целевом давлении. В клинических исследованиях под «низким» или «близким к физиологическому» интраоперационным ВГД чаще понимают целевые значения от 20 до 30 мм рт. ст., в отличие от значений высоты флакона над уровнем глаз пациента в диапазоне 50-80 см (что соответствует значению ВГД 65–90 мм рт. ст.) при использовании гравитационных систем [5].

Наиболее обширная база данных клинических исследований ФЭ с контролем уровня ВГД в настоящее время накоплена для системы Centurion с технологией Active Fluidics и рукояткой Active Sentry (Alcon, США). Рандомизированные исследования демонстрируют возможность безопасного выполнения операции при целевом ВГД 20–30 мм рт. ст. без увеличения времени операции или повышения частоты развития осложнений [6]. В ряде исследований отмечены меньший расход ирригационной жидкости; меньшая ранняя послеоперационная толщина роговицы; меньший риск потери эндотелиальных клеток; уменьшение дискомфорта пациента во время операции и меньшая частота активации системы подавления постокклюзионной потери камерной влаги. Отдельные исследования также указывают на меньшее воздействие на параметры микроциркуляции в сетчатке [7]. В качестве факторов, влияющих на риск интраоперационных осложнений со стороны хирурга, необходимо отметить также особенности хирургической техники и характеристики работы ультразвука и аспирационной помпы [8].

Физические основы работы гравитационной системы определяют диаметр просвета приносящих трубок и эластичность их стенок в качестве факторов, также влияющих на гидродинамику в передней камере во время факоэмульсификации. Косвенно влияют и анатомические особенности передней камеры, значение

вакуума в системе, использование препаратов с различными вискоэластичными свойствами для дополнительной поддержки объёма передней камеры. Значение мощности ультразвука в большей степени влияет на скорость разрушения ядра хрусталика, чем на объём протекающей жидкости через переднюю камеру в единицу времени. При выборе настроек ультразвука наибольшее внимание уделяется плотности вещества хрусталика, наличию слабости связочного аппарата, предпочитаемой технике разрушения ядра хрусталика. Хирургия с разрезом менее 2,4 мм и использование бимануальной ирригационно-аспирационной системы также повышают стабильность объёма передней камеры и их применение приводит к снижению частоты таких осложнений как разрыв задней капсулы хрусталика и избыточная потеря эндотелиальных клеток [4]. Программный интерфейс большинства систем допускает широкий диапазон индивидуальных настроек для разных этапов операции, позволяя хирургу выбирать оптимальные параметры для каждой клинической ситуации.

Во время окклюзии вакуум в аспирационной линии увеличивается, что позволяет удерживать ядро для разделения его на фрагменты. При освобождении наконечника от фрагмента ядра возникает быстрое перемещение жидкости из передней камеры в аспирационную систему — прорыв окклюзии, при котором происходит резкое уменьшение глубины передней камеры, в случае если инфузия не соответствует аспирационным потокам. Основным способом профилактики этих состояний при гравитационной системе подачи жидкости было увеличение высоты ирригационного флакона и, соответственно, давления в глазу во время операции. Однако в реальных условиях гравитационная инфузия не поддерживает постоянное ВГД при изменении аспирационного потока. [9]

По данным литературы, при исследовании уровня внутриглазного давления во время факоэмульсификации, нарастание заданного уровня происходит быстрее при использовании систем поддержки инфузии и остаётся стабильным. В случае с

гравитационной системой колебания достигают 40 мм рт. ст., что приводит к скачкообразным изменениям ВГД, как в сторону его снижения в момент резкого нарастания аспирационных потоков, так и в сторону его повышения в момент остановки аспирационной помпы [10]

Появление систем поддержки инфузии позволило поддерживать заданный уровень ВГД на протяжении всей операции. Исследования *in vitro* показали, что при активном управлении инфузией измеренное давление значительно ближе к установленному целевому ВГД во всем диапазоне аспирационного потока, чем при повышенной высоте флакона при гравитационной инфузии. [11]

Y.-C Su с соавт. в 2023 г. провел мета-анализ шести рандомизированных исследований, включавших 884 пациента, который показал преимущество системы активной поддержки инфузии по сравнению с гравитационной системой в показателях общей ультразвуковой энергии (CDE), общем времени аспирации (TAT) и расходе ирригационной жидкости (EFU) во время ФЭ с применением системы поддержки инфузии. Стандартизированная разность средних составила для CDE $-0,818$ (95% ДИ: от $-1,054$ до $-0,582$), для TAT $-0,664$ (95% ДИ: от $-0,850$ до $-0,479$), для EFU $-0,655$ (95% ДИ: от $-0,932$ до $-0,378$). Анализ чувствительности подтвердил устойчивость полученных результатов для всех трёх показателей.

При оценке послеоперационного состояния роговицы статистически значимых различий между системами активной и гравитационной инфузии выявлено не было. Для плотности эндотелиальных клеток через 1 неделю и 1 месяц после операции различия между группами не являлись статистически значимыми. В исследованиях, включенных в метаанализ, тяжёлых нежелательных явлений при использовании как активной, так и традиционной системы флюидики зарегистрировано не было. Авторы сделали вывод, что система поддержки инфузии может улучшить ряд интраоперационных показателей эффективности

при ФЭ, однако её преимущества по послеоперационному состоянию роговицы менее выражены [12].

В работе 2022 года Y. Luo с соавт. оценивали эффективность и безопасность системы поддержки инфузии в сравнении с гравитационной системой при ФЭ возрастной катаракты в 107 случаях. Получено достоверно меньшее общее время аспирации в группе с поддержкой инфузии ($p=0.02$). Получена разница в остроте зрения в период наблюдения 1 день ($p=0.002$) и 1 неделя ($p=0.038$). Также оценивалась центральная толщина роговицы через 1 и 3 месяца: получены большие значения в группе с гравитационной системой ($p=0.029$ и 0.016). Восстановление показателей поверхностного кровотока в макуле по данным ОКТ-А происходило быстрее в группе с системой контроля ирригации. Авторы указывают разницу при анализе результатов стандартного опросника пациента CAT-PRO5 по болевым ощущениям как достоверную, с меньшим значением индекса боли у пациентов в группе с системой поддержки инфузии. [13]

Концепция ФЭ с низким ВГД заключается не просто в уменьшении инфузионного давления, а в одновременном сохранении объёма передней камеры за счёт баланса притока и оттока жидкости, в том числе и в сложных хирургических условиях. Регуляция работы системы происходит автоматически и поддерживает действия хирурга, что позволяет снизить риск осложнений. Однако преимущество технологии поддержки ирригации проявляется не только в повышении стабильности передней камеры во время ФЭ, но также и в возможности её выполнения при уровне ВГД, наиболее близком к физиологическому, с сохранением времени выполнения операции.

S. Wang с соавт. изучали влияние различных уровней интраоперационного внутриглазного давления на безопасность и результаты ФЭ. В исследование включали пациентов с возрастной катарактой, всего 110 глаз, которым выполняли операцию ФЭ с использованием рукоятки Active Sentry и системы Active Fluidics

(Alcon, США). В зависимости от установленного во время операции уровня ВГД 20 мм рт. ст. или 60 мм рт. ст. пациенты были разделены на две группы по 55 пациентов. Статистически значимых различий по послеоперационной максимально корригированной остроте зрения между группами не выявлено ($p=0,839$). Кумулятивная диссипированная энергия (CDE), общее время ультразвукового воздействия и расчётный объём использованной жидкости также существенно не различались: в группе 20 мм рт. ст. эти показатели составили соответственно $5,22\pm 3,31$; $30,60\pm 15,06$ и $45,07\pm 12,68$, а в группе 60 мм рт. ст. — $4,70\pm 2,83$; $27,39\pm 13,75$ и $42,38\pm 11,93$ ($p=0,381$; $p=0,246$; $p=0,254$). Число срабатываний системы компенсации утечки жидкости Active Surge Mitigation было разным ($p<0,001$) и составило в группе 20 мм рт. ст. $0,95\pm 2,77$, и в группе 60 мм рт. ст. — $7,24\pm 6,34$.

Статистически значимых различий между группами по изменениям общей толщины роговицы, толщины её эпителиального слоя и плотности эндотелиальных клеток до и после операции не обнаружено ($p=0,913$; $p=0,825$; $p=0,624$ соответственно). Ни в одной из групп не зарегистрировано интраоперационных осложнений, включая разрыв задней капсулы хрусталика.

Авторы заключили, что снижение целевого интраоперационного ВГД до 20 мм рт. ст. при использовании Active Sentry и Active Fluidics позволяет значительно повысить стабильность передней камеры за счёт уменьшения частоты развития интраоперационных эпизодов потери жидкости, без увеличения частоты осложнений и без ухудшения ближайших функциональных и результатов.[14]

М.Р. Rauен с соавт. в 2024 году в проспективном рандомизированном исследовании оценивали влияние низкого (менее 28 мм рт. ст.) и высокого (в диапазоне 55–60 мм рт. ст.) интраоперационного ВГД на течение и результаты ФЭ. В исследование были включены 27 пациентов, основным оцениваемым показателем был объём использованной ирригационной жидкости.

При использовании низкого ВГД расход ирригационной жидкости был статистически значимо меньше и составил 40,0 мл против 55,6 мл в группе высокого ВГД ($p < 0,0001$). Изменение толщины роговицы также было менее выраженным при низком ВГД: через 1 сутки её увеличение составляло 3,0% против 8,1% ($p = 0,01$), а через 1 неделю — 3,1% против 4,4% ($p = 0,01$). Через 1 и 3 месяца различия в толщине роговицы между группами отсутствовали.

Снижение плотности эндотелиальных клеток (ECD) было менее выраженным в группе низкого ВГД. Через 1 месяц изменение ECD составляло -1,7% против -12,3% в группе высокого ВГД ($p = 0,001$), а через 3 месяца — +2,1% против -8,9% соответственно ($p = 0,0003$). При многофакторном анализе уровень интраоперационного ВГД оставался статистически значимым предиктором изменения плотности эндотелиальных клеток даже после учёта объёма использованной жидкости и общей энергии ультразвука.

Параметры сетчатки, включая площадь фовеолярной аваскулярной зоны и толщину фовеолярной и макулярной областей, существенно не различались ни в общей выборке, ни при сравнении групп по уровню ВГД. Острота зрения была сопоставимой во всех исследованных временных точках.

Авторы сделали вывод, что использование низкого интраоперационного ВГД сопровождалось меньшей выраженностью послеоперационного воспаления и меньшей травматизацией роговицы, что проявлялось менее выраженным снижением плотности эндотелиальных клеток и меньшим послеоперационным отёком роговицы по сравнению с высоким ВГД. Существенных изменений параметров сетчатки не отмечено, а различия в морфологических показателях не сопровождалось различиями в послеоперационной остроте зрения. [15]

Поскольку верхняя граница значений ВГД в большинстве систем превышает 100 мм рт. ст. и определяется исключительно индивидуальными настройками системы хирургом, вопрос о риске повреждения сетчатки и головки зрительного

нерва при относительно продолжительном воздействии высокого давления, связанном с проведением факоемульсификации изучен недостаточно.

В исследовании А. Scampoli с соавт. (2025 г.) методом оптической когерентной томографии-ангиографии (ОКТ-А) оценивали ранние изменения микроциркуляции макулярной области и диска зрительного нерва после неосложненной факоемульсификации, выполненной с применением системы поддержки инфузии в сравнении с гравитационной системой.

В исследование были включены 42 глаза с неосложненной катарактой. ОКТ-А выполняли за 30 ± 10 мин. до операции, через 30 ± 8 мин. после её завершения, через 24 ± 2 ч. и через 7 суток.

Через 30 мин. после операции статистически значимых различий между группами выявлено не было. Через 24 ч. в группе с гравитационной системой плотность сосудов глубокого капиллярного сплетения во всей макулярной области составила $37,9 \pm 5,8\%$, что было ниже по сравнению с группой с поддержкой инфузии — $42,2 \pm 5,7\%$ ($p=0,048$).

Через 7 суток в группе с гравитационной системой отмечено увеличение толщины слоя нервных волокон сетчатки в назальном ($p=0,020$) и нижнем ($p=0,045$) квадрантах, а также снижение перипапиллярной плотности сосудов в нижнем квадранте диска зрительного нерва ($p=0,036$) по сравнению с группой с поддержкой инфузии.

Авторы заключили, что применение системы поддержки инфузии во время ФЭ связано с более щадящим влиянием на микроциркуляцию макулярной области и диска зрительного нерва.[16]

Технологии разных производителей используют в основе системы поддержки инфузии различные инженерные решения и могут демонстрировать множество комбинаций настроек. Сравнение результатов хирургии ФЭ между

системами разных производителей нередко затруднено, в том числе по причине отсутствия единых показателей их работы.

Т. Rossi с соавт. в экспериментальном исследовании *in vitro* сравнили работу пяти систем для ФЭ на основных этапах операции в условиях аспирации, окклюзии и прорыва окклюзии. Сравнение проводилось между системами Alcon CENTURION, Bausch&Lomb Stellaris PC, BVI Virtuoso, DORC EVA NEXUS и ZEISS QUATERA. Все системы тестировали в одинаковых условиях эксперимента с помощью тестовой камеры по модели Zacharias, с использованием наконечников 21G, при заданном ВГД 30 и 55 мм рт. ст., скорости аспирационного потока 30 мл/мин и диапазоне вакуума от 200 до 600 мм рт. ст. Оценивали внутриглазное давление до, во время и после включения аспирации, при максимальной окклюзии и после имитации прорыва окклюзии, а также возникающую при этом потерю объема тестовой камеры и время восстановления 90% заданного уровня ВГД.

В состоянии покоя все исследованные аппараты поддерживали целевой уровень ВГД. Во время аспирации между платформами были выявлены статистически значимые различия ($p < 0,01$). Наибольшее снижение ВГД отмечалось при использовании Stellaris PC, наименьшее - у QUATERA 700, тогда как Virtuoso наиболее точно поддерживал заданное давление. CENTURION и EVA NEXUS продемонстрировали небольшое превышение установленного уровня ВГД.

Во время окклюзии при установленном давлении 55 мм рт. ст. EVA NEXUS и Stellaris PC статистически значимо превышали заданный уровень ВГД ($p < 0,05$), тогда как остальные системы сохраняли давление, близкое к целевому.

После прорыва окклюзии потеря объема модели передней камеры существенно различалась между системами и составляла от 35 до 200 мкл ($p < 0,001$). Время, необходимое для восстановления 90% установленного ВГД, варьировало от 0,30 до 2,0 с ($p < 0,001$). При целевом ВГД 30 мм рт. ст. лучшие показатели по восстановлению давления после разрушения окклюзии

продemonстрировали CENTURION и Virtuoso. При ВГД 55 мм рт. ст. наиболее благоприятные результаты отмечались у CENTURION, QUATERA и Virtuoso.

Современные факоэмульсификаторы существенно различаются по гидродинамическому влиянию на структуры передней камеры даже при одинаковых стандартизированных настройках. Характеристики управления системой ирригации оказывают значимое влияние на стабильность внутриглазного давления во время аспирации, окклюзии и при её прорыве. В связи с этим для безопасного и эффективного использования систем разных производителей хирург должен учитывать особенности алгоритмов и настроек конкретной системы. В таблице приведены данные по характеристикам вакуумных помп инфузионных систем современных факоэмульсификаторов разных производителей [17, 18].

Таблица

Характеристика современных систем разных производителей с технологией поддержки ирригации (данные Т. Rossi с соавт., 2026)

Система для ФЭ	Тип помпы	Технология инфузии
<i>Alcon Centurion</i>	Перистальтическая, 7 роликов	Сжатие пакета с раствором; отсутствие «мёртвого пространства»
<i>DORC EVA Nexus</i>	Диафрагменный насос	Две камеры кассеты под давлением
<i>ZEISS Quatera 700</i>	Мембранный насос, 4 камеры	Одна камера кассеты под давлением
<i>Bausch & Lomb Stellaris PC</i>	Вентури	Инфузионный флакон под давлением

<i>BVI Virtuoso</i>	Перистальтическая и насос Вентури, соединённые последовательно	Раздельные камеры ирригации и аспирации под давлением
---------------------	--	---

В собственном исследовании ранее было показано, что при использовании системы контроля ирригации значение внутриглазного давления в передней камере, измеренное с помощью тонометра iCare Pro соответствует заданному значению в настройках системы на этапах разрушения ядра и аспирации. Уровень внутриглазного давления 60 мм рт. ст. соответствовал порогу наступления гемодинамических нарушений в системе задних коротких цилиарных артерий (ЗКЦА) и центральной артерий сетчатки. В дальнейшем в клиническом исследовании был зафиксирован уровень ВГД 40 мм рт. ст. во время ФЭ как порог наступления гемодинамических нарушений в ЗКЦА у пациентов с пониженным артериальным давлением. [19]

Использование завышенных порогов ВГД при работе с системами поддержки инфузии нецелесообразно и связано с большим риском развития осложнений. Современные инструменты, имеющиеся в распоряжении хирургов при проведении ФЭ способны обеспечить безопасность её выполнения при низких значениях внутриглазного давления [20-23].

Литература:

1. Solomon K.D., Lorente R., Fanney D., Cionni R.J. Clinical study using a new phacoemulsification system with surgical intraocular pressure control. *J Cataract Refract Surg.* 2016; 42(4): 542–549. doi:10.1016/j.jcrs.2016.01.037

2. Bird B.A., Thomson R.S., Stutz L.A., et al. Effect of increasing flow when grooving during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg.*2018; 44(5): 623–626. doi:10.1016/j.jcrs.2018.01.034
3. Suzuki H., Igarashi T., Takahashi H. Effect of a new phacoemulsification and aspiration handpiece on anterior chamber stability. *J Cataract Refract Surg.*2023; 49(1): 91–96. doi:10.1097/j.jcrs.0000000000001071
4. Buratto L., Brint S.F., Sorce R. *Cataract Surgery with Phaco and Femtophaco Techniques*. CRC Press; 2024: 202.
5. Wavikar C.M., Tanna M.N., Wavikar G.C., et al. Comparison of post-operative outcomes between IOP-20 and IOP-50 in phacoemulsification with Active Fluidics System: randomized single blinded trial. *Clin Ophthalmol.*2025; 19: 3573–3582. doi:10.2147/OPTH.S542284
6. Boccuzzi D., Napolitano P., Giannaccare G., Taloni A. Comparative analysis of fluidics and efficiency among different phaco-emulsifying machines employed for cataract surgery. *Sci Rep.*2025; 15(1): 45699. doi:10.1038/s41598-025-27683-6
7. Raimondi R., Sow K., Peto T., Wride N., et al. The effect of intraocular pressure during phacoemulsification in patients with either diabetic retinopathy or glaucoma; a randomized controlled feasibility trial. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.*2025; 263(8): 2277–2288. doi:10.1007/s00417-025-06839-0
8. Sharif-Kashani P., Fanney D., Injev V. Comparison of occlusion break responses and vacuum rise times of phacoemulsification systems. *BMC Ophthalmol.*2014; 14: 96. doi:10.1186/1471-2415-14-96
9. Shi D.S., Jensen J.D., Kramer G.D., et al. Comparison of vacuum and aspiration on phacoemulsification efficiency and chatter using a monitored forced infusion system. *Am J Ophthalmol.*2016; 169: 162–167. doi:10.1016/j.ajo.2016.06.030
10. Vasavada V., Agrawal D., Vasavada S.A., Vasavada A.R., Yagnik J. Intraoperative performance and early postoperative outcomes following phacoemulsification with three

fluidic systems: a randomized trial. *J Refract Surg.*2024; 40(5): e304–e312. doi:10.3928/1081597X-20240314-02

11. Nicoli C.M., Dimalanta R., Miller K.M. Experimental anterior chamber maintenance in active versus passive phacoemulsification fluidics systems. *J Cataract Refract Surg.*2016; 42(1): 157–162. doi:10.1016/j.jcrs.2015.08.017

12. Su Y.C., Lee Y.Y., Su Y.C. Active-fluidics versus gravity-fluidics in lens extraction: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Ophthalmol.*2023; 33(1): 247–256. doi:10.1177/11206721221107512

13. Luo Y., Li H., Chen W., et al. A prospective randomized clinical trial of active-fluidics versus gravity-fluidics system in phacoemulsification for age-related cataract. *Ann Med.*2022; 54(1): 1977–1987. doi:10.1080/07853890.2022.2098375

14. Wang S., Tao J., Yu X., Diao W., Bai H., Yao L. Safety and prognosis of phacoemulsification using Active Sentry and Active Fluidics with different IOP settings – a randomized, controlled study. *BMC Ophthalmol.*2024; 24: 350. doi:10.1186/s12886-024-03626-z

15. Rauen M.P., Joiner H., Kohler R.A., O'Connor S. Phacoemulsification using an active fluidics system at physiologic vs high intraocular pressure: impact on anterior and posterior segment physiology. *J Cataract Refract Surg.*2024; 50(8): 822–827. doi:10.1097/j.jcrs.0000000000001457

16. Scampoli A., Crincoli E., Governatori L., et al. Active-fluidics versus gravity-fluidics in uncomplicated cataract surgery: using optical coherence tomography angiography to estimate early changes in macular and optic disc microcirculation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.*2026; 264(1): 149–157. doi:10.1007/s00417-025-06939-x

17. Rossi T., Querzoli G., Pellizzaro Deng C., et al. Anterior chamber stability during phacoemulsification: comparing different phacoemulsification systems. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.*2026; 264(7): 2031–2040. doi:10.1007/s00417-026-07209-0

18. Scarfone H.A., Rodriguez E.C., Rufiner M.G., et al. Vitreous-lens interface changes after cataract surgery using active fluidics and Active Sentry with high and low infusion pressure settings. *J Cataract Refract Surg.*2024; 50(4): 333–338. doi:10.1097/j.jcrs.0000000000001359
19. Тахтаев С.Ю., Астахов С.Ю., Тахтаев Ю.В., Киселева Т.Н. Зависимость скорости кровотока в центральной артерии сетчатки от величины внутриглазного давления при факоемульсификации с использованием функции принудительной ирригации. *Офтальмологические ведомости.* 2025; 18(2): 51–60. doi:10.17816/OV678519
20. Liu Y., Hong J., Chen X. Comparisons of the clinical outcomes of Centurion Active Fluidics System with a low IOP setting and gravity fluidics system with a normal IOP setting for cataract patients with low corneal endothelial cell density. *Front Med.*2023; 10: 1294808. doi:10.3389/fmed.2023.1294808
21. Qiao Y., Ye Y., Liu F., Luo L., et al. Active fluidics at lower intraocular pressure reduces intraoperative discomfort during phacoemulsification: a propensity score-matched cohort study. *Front Med.*2026; 13: 1783229. doi:10.3389/fmed.2026.1783229
22. Sato T. Does further lowering intraoperative intraocular pressure reduce surgical invasiveness in active-fluidics Eight-Chop phacoemulsification? A fellow-eye comparative study. *J Clin Med.*2026; 15(1): 366. doi:10.3390/jcm15010366
23. Berdahl J., Terveen D., Aboughaida A., et al. Bench evaluation of intraocular pressure control with clinical assessment of anterior chamber stability of a dual peristaltic phacoemulsification device. *Clin Ophthalmol.*2026; 20: 570189. doi:10.2147/OPTH.S570189

References:

1. Solomon K.D., Lorente R., Fanney D., Cionni R.J. Clinical study using a new phacoemulsification system with surgical intraocular pressure control. *J Cataract Refract Surg.*2016; 42(4): 542–549. doi:10.1016/j.jcrs.2016.01.037
2. Bird B.A., Thomson R.S., Stutz L.A., et al. Effect of increasing flow when grooving during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg.*2018; 44(5): 623–626. doi:10.1016/j.jcrs.2018.01.034
3. Suzuki H., Igarashi T., Takahashi H. Effect of a new phacoemulsification and aspiration handpiece on anterior chamber stability. *J Cataract Refract Surg.*2023; 49(1): 91–96. doi:10.1097/j.jcrs.0000000000001071
4. Buratto L., Brint S.F., Sorce R. *Cataract Surgery with Phaco and Femtophaco Techniques*. CRC Press; 2024: 202.
5. Wavikar C.M., Tanna M.N., Wavikar G.C., et al. Comparison of post-operative outcomes between IOP-20 and IOP-50 in phacoemulsification with Active Fluidics System: randomized single blinded trial. *Clin Ophthalmol.*2025; 19: 3573–3582. doi:10.2147/OPTH.S542284
6. Boccuzzi D., Napolitano P., Giannaccare G., Taloni A. Comparative analysis of fluidics and efficiency among different phaco-emulsifying machines employed for cataract surgery. *Sci Rep.*2025; 15(1): 45699. doi:10.1038/s41598-025-27683-6
7. Raimondi R., Sow K., Peto T., Wride N., et al. The effect of intraocular pressure during phacoemulsification in patients with either diabetic retinopathy or glaucoma; a randomized controlled feasibility trial. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.*2025; 263(8): 2277–2288. doi:10.1007/s00417-025-06839-0
8. Sharif-Kashani P., Fanney D., Injev V. Comparison of occlusion break responses and vacuum rise times of phacoemulsification systems. *BMC Ophthalmol.*2014; 14: 96. doi:10.1186/1471-2415-14-96

9. Shi D.S., Jensen J.D., Kramer G.D., et al. Comparison of vacuum and aspiration on phacoemulsification efficiency and chatter using a monitored forced infusion system. *Am J Ophthalmol.*2016; 169: 162–167. doi:10.1016/j.ajo.2016.06.030
10. Vasavada V., Agrawal D., Vasavada S.A., Vasavada A.R., Yagnik J. Intraoperative performance and early postoperative outcomes following phacoemulsification with three fluidic systems: a randomized trial. *J Refract Surg.*2024; 40(5): e304–e312. doi:10.3928/1081597X-20240314-02
11. Nicoli C.M., Dimalanta R., Miller K.M. Experimental anterior chamber maintenance in active versus passive phacoemulsification fluidics systems. *J Cataract Refract Surg.*2016; 42(1): 157–162. doi:10.1016/j.jcrs.2015.08.017
12. Su Y.C., Lee Y.Y., Su Y.C. Active-fluidics versus gravity-fluidics in lens extraction: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Ophthalmol.*2023; 33(1): 247–256. doi:10.1177/11206721221107512
13. Luo Y., Li H., Chen W., et al. A prospective randomized clinical trial of active-fluidics versus gravity-fluidics system in phacoemulsification for age-related cataract. *Ann Med.*2022; 54(1): 1977–1987. doi:10.1080/07853890.2022.2098375
14. Wang S., Tao J., Yu X., et al. Safety and prognosis of phacoemulsification using Active Sentry and Active Fluidics with different IOP settings – a randomized, controlled study. *BMC Ophthalmol.*2024; 24: 350. doi:10.1186/s12886-024-03626-z
15. Rauen M.P., Joiner H., Kohler R.A., O'Connor S. Phacoemulsification using an active fluidics system at physiologic vs high intraocular pressure: impact on anterior and posterior segment physiology. *J Cataract Refract Surg.*2024; 50(8): 822–827. doi:10.1097/j.jcrs.0000000000001457
16. Scampoli A., Crincoli E., Governatori L., et al. Active-fluidics versus gravity-fluidics in uncomplicated cataract surgery: using optical coherence tomography angiography to estimate early changes in macular and optic disc microcirculation.

*Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.*2026; 264(1): 149–157. doi:10.1007/s00417-025-06939-x

17. Rossi T., Querzoli G., Pellizzaro Deng C., et al. Anterior chamber stability during phacoemulsification: comparing different phacoemulsification systems. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.*2026; 264(7): 2031–2040. doi:10.1007/s00417-026-07209-0

18. Scarfone H.A., Rodriguez E.C., Rufiner M.G., et al. Vitreous-lens interface changes after cataract surgery using active fluidics and Active Sentry with high and low infusion pressure settings. *J Cataract Refract Surg.*2024; 50(4): 333–338. doi:10.1097/j.jcrs.0000000000001359

19. Takhtaev S.Yu., Astakhov S.Yu., Takhtaev Yu.V., Kiseleva T.N. Dependence of blood flow velocity in the central retinal artery on intraocular pressure during phacoemulsification with active fluidics. *Ophthalmology Reports.* 2025; 18(2): 51–60. (in Russian) doi:10.17816/OV678519

20. Liu Y., Hong J., Chen X. Comparisons of the clinical outcomes of Centurion Active Fluidics System with a low IOP setting and gravity fluidics system with a normal IOP setting for cataract patients with low corneal endothelial cell density. *Front Med.*2023; 10: 1294808. doi:10.3389/fmed.2023.1294808

21. Qiao Y., Ye Y., Liu F., Luo L., et al. Active fluidics at lower intraocular pressure reduces intraoperative discomfort during phacoemulsification: a propensity score-matched cohort study. *Front Med.*2026; 13: 1783229. doi:10.3389/fmed.2026.1783229

22. Sato T. Does further lowering intraoperative intraocular pressure reduce surgical invasiveness in active-fluidics Eight-Chop phacoemulsification? A fellow-eye comparative study. *J Clin Med.*2026; 15(1): 366. doi:10.3390/jcm15010366

23. Berdahl J., Terveen D., Aboughaida A., et al. Bench evaluation of intraocular pressure control with clinical assessment of anterior chamber stability of a dual peristaltic phacoemulsification device. *Clin Ophthalmol.*2026; 20: 570189. doi:10.2147/OPTH.S570189